

# EVALUASI KINERJA CONVOLUTIONAL CODING RATE $\frac{1}{2}$ PADA SISTEM CDMA DENGAN KANAL AWGN DAN MULTIPATH RAYLEIGH FADING

Bayu Dwi Setyadi, Imam Santoso, Darjat

## Abstract

Reliability of telecommunication systems is very important, especially with the development of digital technologies that require high-quality telecommunications systems. CDMA system is intended to provide a reliable telecommunications system with a high capacity. It's needed a method to complement these systems to be able to improve overall performance. One way to increase system performance is by the addition of channel coding in order to reduce data transmission errors. There are two types of channel coding that is often used, namely block codes and convolutional code.

The method used in this final project is a convolutional encoder at the transmitter and the Viterbi decoder at the receiver. To test the performance of encoders, the system is passed on AWGN and Rayleigh Fading channels. The coding parameters that affect the system in correcting errors such as constraint length, code rate, and the generator polynomial. This research will discuss the effects of changes in length of the constraint in the convolutional encoder on the performance of DS-CDMA system. This research will also discuss the effect of interleaver on the performance of the encoding. System performance measures of the specific bit error rate on the value of  $E_b/N_o$ .

The simulation results show that the addition of convolutional encoder capable of providing improved system performance. Implementation of convolutional encoder with constraint length 3 on the AWGN channel has BER  $4 \times 10^{-5}$  resulted in  $E_b/N_o$  5dB, while the system without channel coding only produce BER  $5.9 \times 10^{-3}$  at equal  $E_b/N_o$ . In other words, the system can reduce the need for  $E_b/N_o$  of 4dB with the use of convolutional encoder. The performance of convolutional encoder in AWGN channel with the worst result by the value of constraint length 3, in  $E_b/N_o$  4dB produce BER at  $3 \times 10^{-4}$ , while the best performance is produced by the constraint length 11 with the BER of  $1.05 \times 10^{-4}$ . The addition of interleaver and de-interleaver can produce a better BER with an average difference of BER up to  $4.7 \times 10^{-3}$ . The performance of convolutional encoder has decreased in Rayleigh Fading. In the range of  $E_b/N_o$  0dB to 15dB resulting BER is 0,07082 to 0,000115 without channel coding. Therefore the system performance has slightly increase with addition of convolutional coding, resulted BER 0,0744 to 0,00005 and with addition of interleaver has BER value 0,063245 to 0.

**Keywords:** CDMA, convolutional coding, AWGN channel, Rayleigh Fading.

## I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Code Division Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan akan komunikasi yang baik dan handal. Teknologi CDMA dikenal akan kelebihanannya yang lebih tahan interferensi dan memiliki kapasitas yang lebih tinggi sehingga mampu mengakomodasi kebutuhan pengguna komunikasi.

Namun, sistem komunikasi digital tidak akan pernah lepas dari gangguan seperti *noise*, *interference*, dan *fading* yang akan mengakibatkan penurunan performa pada proses pengiriman data. Gangguan ini bisa menyebabkan distorsi sinyal, penurunan SNR, dan bahkan terputusnya komunikasi. Sehingga dibutuhkan sebuah bagian untuk mengurangi gangguan atau meningkatkan kinerja, salah satu caranya adalah dengan menggunakan pengodean kanal.

Implementasi *Forward Error Correction* (FEC) berfungsi untuk meningkatkan kapasitas kanal komunikasi dengan menambahkan beberapa informasi redundan yang didesain sedemikian rupa

ke dalam data yang dikirimkan melewati suatu kanal komunikasi. Proses dari penambahan informasi redundan ini dinamakan *channel coding*. Jadi, jika *noise* atau *fading* terjadi dalam kanal, data-data tersebut masih bisa dikembalikan saat sampai di penerima. Ketika sampai di penerima, dilakukan *channel decoding* yang berfungsi untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan yang terjadi. *Convolutional coding* dan *block coding* merupakan dua bentuk utama dari *channel coding*. *Convolutional coding* bekerja dalam data serial, satu atau beberapa bit dalam satu waktu. Sedangkan *block codes* beroperasi dalam blok-blok pesan yang relatif besar (bisa mencapai ratusan *byte*).

### 1.2 Tujuan

Membuat simulasi untuk mengamati kinerja *convolutional encoder* pada sistem komunikasi CDMA.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Simulasi ini dibangun hanya dalam tataran *single user environment*.
2. Simulator yang dikembangkan meliputi *transmitter, receiver*, serta desain kanal AWGN dan *multipath Rayleigh fading*.
3. Keluaran dari simulasi adalah grafik BER terhadap nilai  $E_b/N_o$ .
4. Variabel yang dicobakan adalah sistem tanpa dan dengan *convolutional coding* rate  $1/2$  yang divariasi kondisi kanal dan parameter pengkodeannya.

## II DASAR TEORI

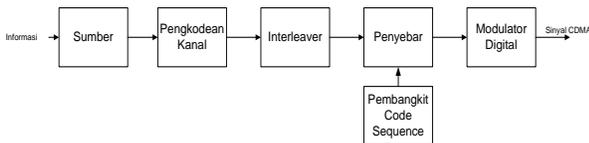
### 2.1 Spread Spectrum

*Spread spectrum* atau spektrum tersebar adalah teknik memancarkan sinyal pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pita frekuensi yang dibutuhkan pada transmisi standard.

*Direct sequence* merupakan suatu teknik spektrum tersebar dimana pita frekuensi diperlebar dengan cara menambah kecepatan bit data. Hal ini dilakukan dengan mengalikan tiap-tiap bit data dengan sejumlah sub bit yang dinamai *chips*. Jika diasumsikan ada 10 bit *chips*, maka tiap bit dari sinyal asli akan dikalikan dengan 10 bit *chips*. Hasil dari proses ini akan meningkatkan kecepatan 10 kali lipat data asli, dengan meningkatnya kecepatan data ini maka pita frekuensi akan meningkat 10 kali lipat juga.

### 2.2 Code Division Multiple Access (CDMA)

CDMA adalah teknik modulasi dan akses jamak berdasarkan teknik *spread spectrum direct sequence* dimana pengiriman sinyal menduduki lebar pita frekuensi melebihi spektrum minimal yang dibutuhkan. Teknik spektrum tersebar pada awalnya digunakan untuk kebutuhan militer karena memiliki kelebihan mampu mengatasi *jamming* dengan baik. Secara umum blok diagram sistem CDMA ditunjuk pada Gambar 2.1.

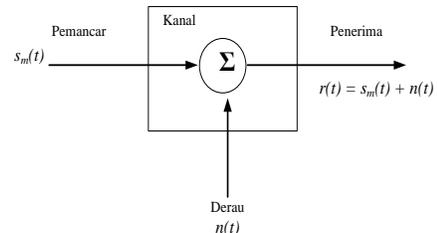


Gambar 1 Blok diagram sisi pemancar CDMA

### 2.3 Kanal AWGN

Untuk sebuah sistem komunikasi yang ideal, kanal hanya akan mendapatkan derau berupa *additive white gaussian noise*. Istilah "additive" berarti bahwa derau tersebut ditambahkan di atas sinyal yang cenderung menyembunyikan atau

menghalangi sinyal sehingga akan mengurangi kemampuan penerima untuk menentukan simbol yang benar serta membatasi *rate* transmisi informasi. AWGN mempunyai kerapatan spektral yang datar (*flat spectral density*) pada ranah frekuensi yang lebar. Dalam sistem komunikasi kanal AWGN adalah suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari derau putih dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi *Gaussian* dari *sample noise*.



Gambar 2 Blok diagram sisi pemancar CDMA

sehingga persamaan matematisnya dapat dituliskan.

$$r(t) = s_m(t) + n(t) \quad 0 \leq t \leq T \dots\dots (1)$$

dengan  $n(t)$  adalah fungsi derau,  $r(t)$  adalah sinyal informasi yang telah bercampur dengan derau  $n(t)$  dan  $s_m(t)$  adalah sinyal informasi.

### 2.4 Rayleigh Fading

*Fading* merupakan fenomena terjadinya variasi amplitudo dan fasa relatif pada satu atau lebih komponen frekuensi sinyal yang diterima yang disebabkan oleh perubahan karakteristik jalur propagasi terhadap waktu. Sebuah sinyal dapat berjalan dari pemancar ke penerima melewati medium dengan banyak pemantulan. Fenomena ini disebut sebagai *multipath propagation*. Efek ini dapat menyebabkan fluktuasi pada amplitudo, fasa, dan sudut datang sinyal terima, dan disebut pula *multipath fading*.

Distribusi *Rayleigh* memiliki fungsi kerapatan probabilitas (pdf) berikut ini:

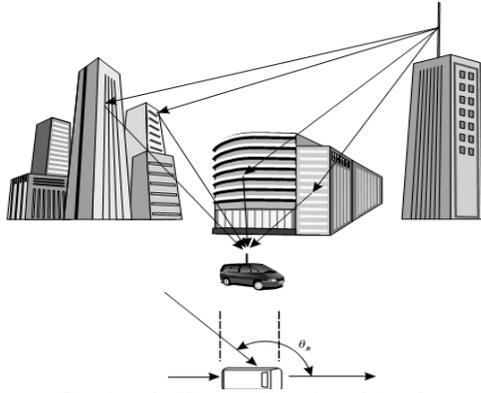
$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases}$$

dengan  $\sigma$  nilai rms dari tegangan sinyal terima, sedangkan  $\sigma^2$  adalah rata-rata waktu daya sinyal terima.

Pengaruh perpindahan *Doppler* dijabarkan oleh rumus:

$$f_d = \left(\frac{vf}{c}\right) \cos \theta$$

dimana  $f$  adalah frekuensi *carrier*,  $v$  kecepatan pengguna,  $c$  kecepatan cahaya,  $\theta$  sudut gelombang, dan  $f_d$  frekuensi *Doppler*.



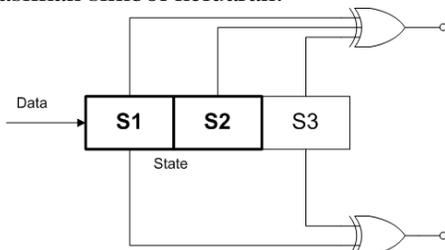
Gambar 3 Konsep kanal *multipath*

## 2.5 Pengkodean Kanal (*Channel coding*)

*Channel coding* dijalankan dengan secara selektif menambahkan bit-bit redundan ke dalam aliran pengiriman informasi. Penambahan bit-bit ini akan memungkinkan pendeteksian dan pengkoreksian kesalahan bit pada aliran penerimaan data serta menjadikan transmisi informasi menjadi lebih handal. Pengkodean kanal yang mampu mendeteksi kesalahan disebut *error detection codes*, sedangkan pengkodean kanal yang mampu mendeteksi dan mengoreksi kesalahan disebut *error correction codes*.

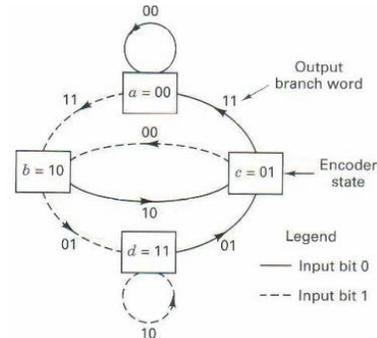
### 2.5.1 Convolutional Coding

Kode konvolusional seringkali dideskripsikan menggunakan dua parameter: *code rate* dan *constraint length*. *Code rate*,  $k/n$ , adalah perbandingan antara jumlah bit masukan pada enkoder konvolusional ( $k$ ) dengan jumlah keluaran simbol kanal pada enkoder konvolusional ( $n$ ) dalam sebuah *encoder cycle*. Perbedaan antara kode konvolusional dengan kode blok adalah pada kode konvolusional terdapat memori yang dikategorikan sebagai *constraint length*,  $K$ . *Constraint length* menunjukkan jumlah  $k$ -bit *stages* yang tersedia untuk memenuhi logika kombinatorial yang menghasilkan simbol keluaran.



Gambar 4 Convolutional Encoder ( $\text{rate}=1/2, K=3$ )

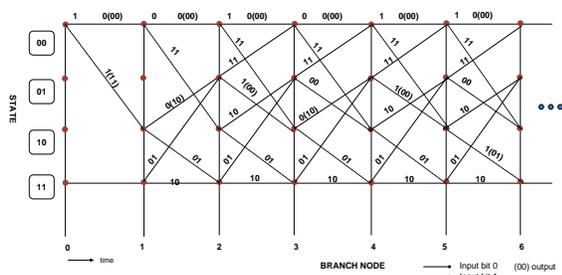
Rangkaian *encoder* pada Gambar 4 terdapat empat *state* yaitu [00], [01], [10], [11] yang didapatkan dari  $K-1$ . *State* yang ditunjukkan dalam kotak pada gambar 2.10 menunjukkan isi yang mungkin dari tingkat register  $K-1$  paling kanan dan jarak antara *state* menunjukkan *output branch word* hasil dari transisi *state*. *State* register dirancang bernilai  $a = 00$ ,  $b = 10$ ,  $c = 01$  dan  $d = 11$ . Hanya ada dua transisi yang keluar dari kedua *state* yang saling berhubungan dan menghasilkan dua bit masukan. Selanjutnya tiap jeda antar *state* merupakan *output branch word* dari transisi *state*. Pada gambar 5, garis lurus menunjukkan jeda bit input "0", sedangkan garis putus-putus adalah bit input "1". Dengan memindahkan satu bit dalam satu kanal waktu maka hanya akan terjadi dua transisi *state* yang bisa dijalankan oleh register pada tiap bit waktu.



Gambar 5 Diagram state enkoder ( $\text{rate} = 1/2, K = 3$ )

Dari diagram state diatas selanjutnya dibuat diagram *Trellis*. Diagram *Trellis* adalah bentuk dari diagram state yang memasukkan dimensi waktu ke dalam suatu struktur enkoder berulang. Sama dengan *state diagram* di atas, keluaran bit input "0" berupa garis lurus sedangkan keluaran bit input "1" berupa garis putus-putus. Titik-titik pada diagram *Trellis* menentukan kondisi *encoder state*. Titik-titik pada baris pertama berhubungan dengan state  $a = 00$ , baris kedua dan seterusnya berhubungan dengan state  $b = 10$ ,  $c = 01$  dan  $d = 11$ .

Misalkan deret bit masukan adalah 101011..., mula-mula diasumsikan *shift register* dalam keadaan reset (semua bit 0). Setelah bit pertama dari bit masukan di *shift* isi dari *shift register* menjadi 100. Keluaran kedua *adder* akan menjadi 10. Setelah bit masukan kedua di *shift* isi *shift register* menjadi 110 dan keluaran kedua *adder* adalah 01, demikian seterusnya.



Gambar 6 Diagram Trellis

### 2.5.2 Proses Decoding (Viterbi)

Fungsi dari *decoder* adalah untuk menentukan deretan bit keluaran yang paling mirip dari aliran bit masukan yang diberikan dan pengetahuan dari *encoder* yang digunakan pada sumber. Proses *decoding* yaitu dengan membandingkan deretan bit yang diterima dengan semua kemungkinan deretan bit yang mungkin diperoleh dari hasil *encoder* dan memilih deretan paling dekat hasilnya dengan deretan yang diterima. Untuk menentukan deretan bit paling dekat adalah menggunakan metode *maximum likelihood* dengan cara menghitung *Hamming Distance Metric*-nya, deretan bit yang memiliki *Hamming Metric* paling tinggi dipilih dari deretan bit tersebut.

### 2.5.3 Interleaving

*Interleaving* adalah teknik untuk mengatasi *error* yang bersifat *bursty*. Suatu sinyal yang melalui kanal *fading* akan mengalami *error* secara berurutan (*bursty*) sedangkan *channel encoder* yang melakukan proses *error detection* dan *error correction* memiliki keterbatasan dalam mengoreksi jumlah *error* yang terjadi secara berurutan. Untuk menghindari hal tersebut maka dipergunakan teknik *interleaving* pada data serial sebelum dikirim melewati kanal kemudian dilakukan proses sebaliknya (*deinterlaving*) pada penerima. Proses *interleaving* menjadikan data yang dikirim menjadi acak sehingga ketika terjadi distorsi pada saat melewati kanal, *error bursty* menjadi tersebar pada aliran data (setelah *deinterlaving*). Dengan demikian *channel encoder* dapat melakukan fungsinya dengan baik. Salah satu cara *interleaving* adalah dengan membagi data serial ke dalam matriks  $n \times m$  berurutan per kolom. Kemudian data dalam matriks tersebut diubah ke dalam data serial lagi dengan pembacaan per baris.

Data serial kirim = 1, 2, 3, 4 ... 50, matrik *interleave* =  $5 \times 10$ . Data serial terima = 1, 6, 11, 16, 21 ... 29, 34, 39 ... 40, 45, 50. *Burst error* terjadi pada data ke : 7, 12, 17 dan 28, 33, 38.

1	6	11	16	21	26	31	36	41	46
2	7	12	17	22	27	32	37	42	47
3	8	13	18	23	28	33	38	43	48
4	9	14	19	24	29	34	39	44	49
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Gambar 7 Contoh blok interleaver

## 2.6 Modulasi QPSK

Fungsi dari modulator adalah untuk memodulasikan sinyal informasi dengan sinyal pembawa yang memiliki frekuensi lebih tinggi daripada frekuensi sinyal *baseband*.

QPSK atau *quadrature-PSK* adalah bentuk dari modulasi digital selubung konstan termodulasi sudut. QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary* dimana  $M=4$  (karenanya dinamakan "*quaternary*" yang berarti "4"). *M-ary* adalah suatu bentuk turunan dari kata "*binary*". *M* berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. Dalam QPSK ada empat fasa keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda. Karena masukan digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner (dasar 2), maka untuk menghasilkan empat kondisi masukan yang berbeda harus dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal. Menggunakan 2 bit, ada empat kondisi yang mungkin: 00, 01, 10 dan 11.

## III PERANCANGAN SISTEM

Perancangan program simulasi pada tugas akhir ini menggunakan simulator Matlab versi 7.6. Program dirancang untuk mensimulasikan pengiriman dan penerimaan data melalui kanal nirkabel.

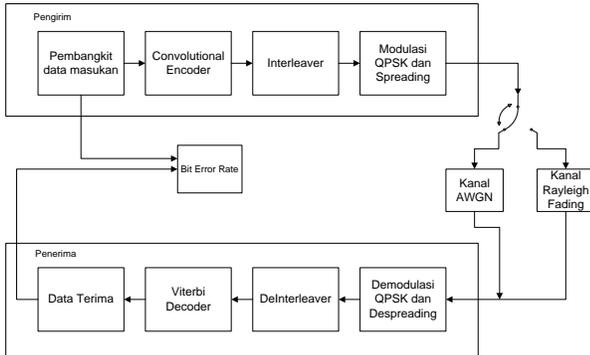
Dari proses simulasi tersebut akan diketahui nilai *Bit Error Rate* (BER) dari tiap nilai  $E_b/N_0$  tertentu. Dengan program simulasi ini diharapkan bisa mensimulasikan sistem tanpa perlu membuat prototype atau melakukan penelitian lapangan.

Data Informasi pertama-tama akan dirubah terlebih dahulu menjadi bentuk digital. Setelah melewati generator data, data digital dimasukkan dalam *channel encoder* untuk mengurangi terjadinya kesalahan bit data pada kanal komunikasi. Jenis *channel encoder* yang digunakan yakni *Convolutional codes*. Kemudian data dilewatkan ke dalam blok *Interleaver*, yang berguna untuk mengurangi kesalahan *bursty* pada aliran data.

Tabel 1 Parameter Simulasi

Parameter Simulasi CDMA	
Symbol Rate	256.000
Modulation Level	2 (QPSK)
Bit Rate	Symbol rate * modulation level
Jumlah simbol	100
Jumlah Iterasi	1000
Pengkodean Kanal	Convolutional Code
Kanal Propagasi	AWGN
	Multipath Rayleigh Fading

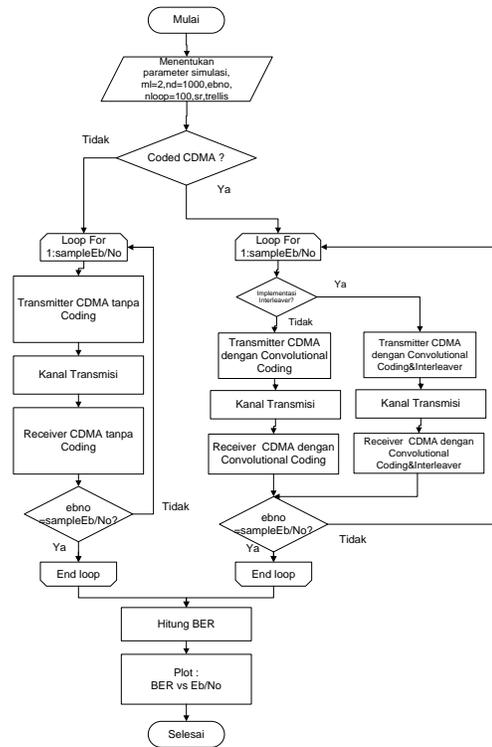
Selanjutnya, data digital yang telah dikodekan dilewatkan ke dalam modulator digital dan diubah menjadi sinyal radio. Kemudian sinyal yang termodulasi digital ditransmisikan melalui kanal radio.



Gambar 8 Diagram Simulasi Pengiriman Data

Pada sistem DS-CDMA sinkron, user mempergunakan *sequence* mereka untuk menyebarkan data informasi. Pada masing-masing terminal user, data informasi dimodulasi oleh skema modulasi pertama (QPSK). Kemudian bit pertama dari data termodulasi disebarkan (di-*spread*) oleh sebuah *code sequence*, yakni *M-sequence*. Data yang tersebar dari semua user dikirimkan ke *base station* pada waktu yang sama. *Base Station* akan mendeteksi data informasi dari tiap user dengan mengkorelasi sinyal terima dengan sebuah *code sequence* yang dialokasikan untuk tiap user.

Pada sisi penerima (*receiver*), setelah sinyal diterima dan dikorelasi, diumpankan ke demodulator digital. Data dimasukkan ke dalam de-interleaver untuk diurutkan kembali.



Gambar 9 Diagram Alir simulasi

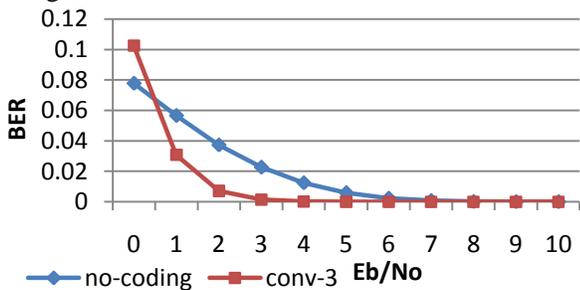
Kemudian data dari *de-interleaver* tersebut dilewatkan ke dalam *channel decoder*, untuk dikembalikan lagi ke bentuk asal. Proses *decoding* menggunakan *viterbi decoder*. Yang terakhir, data yang telah didekodekan tersebut dikembalikan ke dalam bentuk semula.

#### IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan langkah pembahasan program simulasi. Proses pembahasan akan menguraikan tentang pengaruh pengkodean kanal terhadap peningkatan kinerja sistem CDMA pada kondisi kanal tanpa derau maupun berderau. Pada sistem ini bentuk masukan berupa data acak digital yang ditentukan jumlahnya. Data-data tersebut kemudian ditransmisikan oleh pemancar CDMA, dilewatkan dalam kanal AWGN maupun *Rayleigh Fading*, dan kemudian diterima oleh penerima CDMA. Untuk mengetahui kinerja sistem, jumlah bit yang salah pada bagian penerima akan dibandingkan dengan jumlah bit yang dikirim sehingga kemudian diperoleh nilai BERnya.

#### 4.1 Pengujian sistem CDMA dengan *convolutional coding* dan tanpa *convolutional coding*

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui perbandingan kinerja antara sistem CDMA yang belum terintegrasi *channel coding* dengan sistem CDMA yang sudah menggunakan *channel coding*. Dengan perbandingan tersebut akan diketahui seberapa besar perbaikan kinerja yang didapatkan. Jenis *channel coding* yang digunakan pada simulasi adalah tipe *Convolutional Coding* dengan variasi panjang *constraint length* dan *coding rate*  $\frac{1}{2}$  yang berarti setiap satu bit masukan akan menghasilkan dua bit keluaran dari decoder.



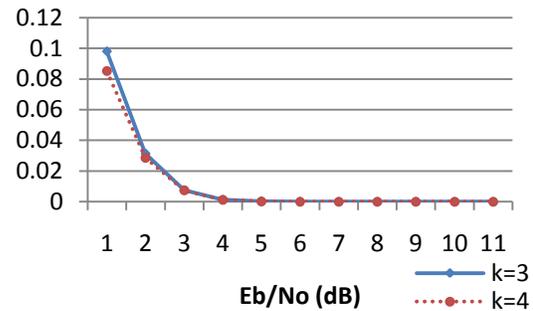
Gambar 10 Hasil simulasi sistem dengan dan tanpa *coding* pada kanal AWGN

Dari grafik tersebut terlihat bahwa perbaikan kinerja yang dihasilkan oleh implementasi pengkodean kanal sangatlah signifikan. Pada sistem CDMA tanpa channel coding untuk memperoleh BER  $10^{-3}$  membutuhkan  $E_b/N_o$  sebesar 7 dB, sedangkan sistem CDMA dengan implementasi channel coding mampu memperoleh BER  $10^{-3}$  hanya dengan tingkat  $E_b/N_o$  sebesar 3 dB. Untuk memperoleh BER 0 atau tanpa kesalahan sama sekali, sistem CDMA tanpa pengkodean kanal membutuhkan  $E_b/N_o$  pada tingkat 9 dB. Sedangkan sistem CDMA dengan pengkodean kanal hanyamembutuhkan  $E_b/N_o$  sebesar 5 dB.

Dari hasil simulasi tersebut dapat diketahui bahwa sistem CDMA dengan penerapan pengkodean kanal di dalamnya mampu memberikan perbaikan kinerja sebesar 4 dB dibandingkan sistem CDMA tanpa penerapan pengkodean kanal. Jadi dengan kata lain sistem CDMA dengan penerapan channel coding memberikan penghematan daya sebesar 4 dB. Dengan penghematan daya tersebut, maka akan terjadi efisiensi pada pemancar sehingga mampu menggunakan antenna yang lebih kecil dan pada akhirnya akan menghemat biaya operasional.

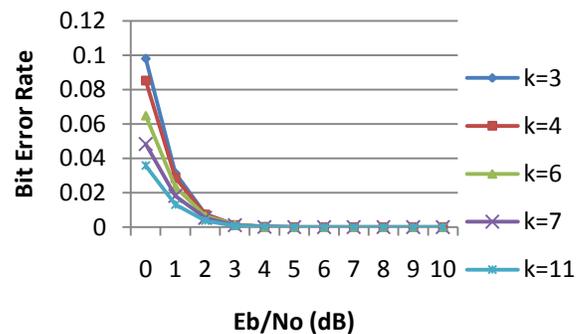
#### 4.2 Pengujian sistem CDMA dengan variasi parameter *Convolutional Coding*

Dari hasil percobaan didapatkan bahwa pada nilai  $E_b/N_o$  7 dB telah mencapai BER 0. Sedangkan untuk nilai  $K=4$ , pada nilai  $E_b/N_o$  7 dB BER yang dicapai juga 0. Namun nilai BER pada rentang  $E_b/N_o$  antara 0 dB sampai 6 dB terlihat perbedaan walaupun tidak terlalu signifikan. Sebagai contoh pada  $E_b/N_o$  4 dB terlihat BER sistem dengan  $K=4$  lebih rendah yakni  $1,2 \times 10^{-4}$  dibandingkan sistem dengan  $K=3$  yang menghasilkan BER  $3 \times 10^{-4}$ . Terjadi perbaikan kinerja dari  $K=4$  dibandingkan  $K=3$ . Hal ini sesuai teori yang mengatakan bahwa semakin besar nilai *Constraint Length* maka akan terjadi perbaikan kinerja sistem. Namun hal ini juga mengakibatkan desain sistem yang lebih kompleks dan membutuhkan waktu proses yang semakin lama.



Gambar 11 Hasil simulasi untuk  $K=3$  dan  $K=4$

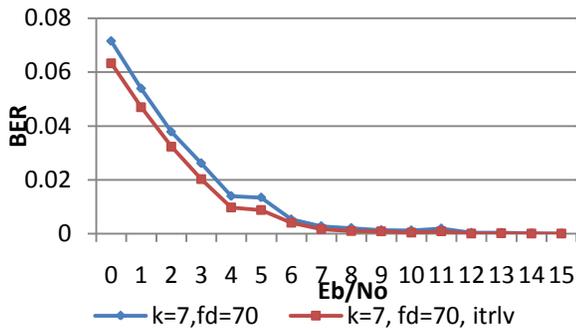
Sedangkan untuk hasil simulasi secara lengkap dengan variasi nilai *Constraint Length* sebagai berikut



Gambar 12 Hasil simulasi sistem dengan *convolutional coding*

Terlihat bahwa nilai BER untuk masing-masing nilai *Constraint Length* mengalami perbaikan. Semakin tinggi nilai *Constraint Length* kinerja yang dihasilkan semakin baik, ditandai

dengan penurunan BER pada tiap kenaikan nilai *Constraint Length*-nya.

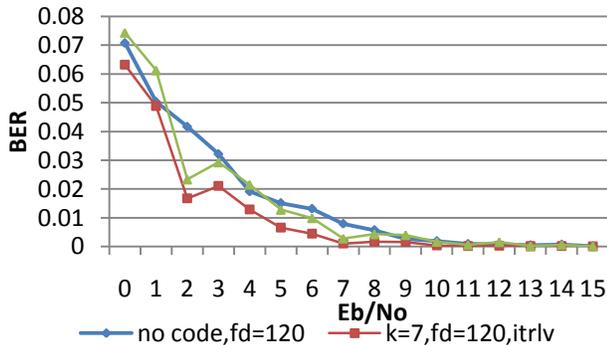


Gambar 13 Hasil simulasi sistem dengan Interleaver

Dari data percobaan diatas terdapat perbaikan nilai BER pada sistem dengan penambahan interleaver dibandingkan dengan sistem tanpa implementasi interleaver. Besarnya perbaikan diambil dari rata-rata selisih BER yang terjadi, yakni sebesar 0,0047. Penambahan interleaver tersebut mampu mengurangi kesalahan pengiriman data akibat proses yang bersifat *bursty*. Penambahan interleaver ini juga meningkatkan kompleksitas sistem, dengan indikasi bahwa pemrosesan simulasi membutuhkan waktu yang lebih lama.

#### 4.3 Pengujian sistem pada Kanal AWGN dan Rayleigh Fading

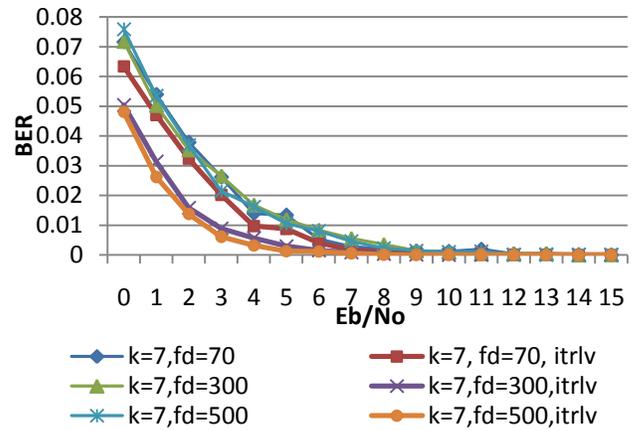
Data hasil simulasi sistem pada kanal Rayleigh Fading adalah sebagai berikut:



Gambar 14 Hasil simulasi sistem pada kanal Rayleigh

Dari data di atas dapat dilihat bahwa kinerja sistem pada kanal Rayleigh lebih buruk jika dibandingkan dengan kanal AWGN. Sistem tanpa *convolutional coding* menghasilkan BER antara 0,07082 sampai 0,000115 pada rentang  $E_b/N_0$  0dB sampai 15dB. Sedangkan sistem dengan implementasi *convolutional coding* memberikan perbaikan kinerja dengan menghasilkan BER antara 0,0744 sampai 0,00005. Penambahan *interleaver*

mampu meningkatkan kinerja, dengan BER dari 0,063245 pada nilai  $E_b/N_0$  0dB sampai BER 0 pada nilai 15dB. Performansi yang buruk ini disebabkan karena terjadi penurunan daya sinyal atau sinyal yang terdistorsi oleh gelombang *multipath* yang diterima dan pergeseran frekuensi akibat efek *doppler* yang terjadi, sehingga subsistem demodulasi akan lebih kesulitan melakukan proses demodulasi, akibatnya adalah kesalahan dalam proses demodulasi yang selanjutnya berdampak pada buruknya BER yang dihasilkan sistem.



Gambar 15 hasil simulasi sistem dengan variasi  $f_d$

Nilai BER sistem dengan  $f_d$  sebesar 70Hz, 300Hz, dan 500Hz mengalami rata-rata yang tidak terlalu berbeda jauh. Akan tetapi diimplementasikan *interleaver* kinerja sistem menjadi lebih baik, khususnya pada nilai  $f_d$  300Hz dan 500Hz perubahan kinerja menjadi lebih terlihat. Penggunaan *channel coding* dan *interleaver* mampu mengurangi kesalahan *bursty* khususnya pada kanal *Rayleigh Fading*.

## V PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Sistem dengan implementasi *convolutional coding* mampu memberikan perbaikan kinerja sebesar 4 dB, dengan rata-rata kenaikan BER sebesar 0.006745, dibandingkan sistem tanpa *convolutional coding* pada kanal AWGN.
- 2) Pada sistem dengan *convolutional coding* nilai BER 0 dapat dicapai pada nilai  $E_b/N_0$  6dB, sedangkan sistem tanpa *convolutional coding* pada nilai  $E_b/N_0$  9 dB.

- 3) Nilai BER  $10^{-3}$  untuk sistem dengan *convolutional coding* dicapai pada  $E_b/N_o$  3 dB, sedangkan sistem tanpa *convolutional coding* dicapai pada  $E_b/N_o$  7 dB.
- 4) Pada pengujian sistem CDMA dengan implementasi *convolutional coding* semakin besar nilai *Constraint Length*, kinerja sistem semakin baik, ditandai dengan kenaikan BER.
- 5) Penambahan *interleaver* menghasilkan rata-rata perbaikan BER sebesar 0,0047.
- 6) Pada kanal *Multipath Rayleigh Fading*, sistem tanpa *convolutional coding* menghasilkan BER antara 0,07082 sampai 0,000115 pada rentang  $E_b/N_o$  0dB sampai 15dB. Sistem dengan *convolutional coding* menghasilkan perbaikan kinerja dengan hasil BER antara 0,0744 sampai 0,00005, dan penambahan *interleaver* menghasilkan BER sebesar 0,063245 sampai 0.
- 7) Nilai BER sistem dengan  $f_d$  sebesar 70Hz, 300Hz, dan 500Hz mengalami rata-rata yang tidak terlalu berbeda jauh. Implementasi *interleaver* menghasilkan perbaikan kinerja sistem, khususnya pada nilai  $f_d$  300Hz dan 500Hz.

## 5.2 SARAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Mengembangkan sistem dengan model kanal yang lain seperti *Rician Fading*.
- 2) Mengembangkan sistem dengan *coding rate* yang bervariasi.
- 3) Mengembangkan sistem dengan penggunaan *Code Sequence* yang lain seperti *Gold Sequence*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bose, Ranjan, *Information Theory, Coding and Cryptography*, McGraw-Hill, New Delhi, 2000.
- [2]. Eskaprianda, Ardhianto, *Mobile Switching Centre (MSC)*, Laporan Kerja Praktek Teknik Elektro Undip, 2009
- [3]. Freeman, Roger L, "*Telecommunication Transmission Handbook*", 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Son, New Jersey, 1991.
- [4]. Huawei, *CDMA2000 Principle*, PDF Files, 2004
- [5]. Langton, Charan, *Coding and Decoding with Convolutional Codes*, PDF Files, 1999

- [6]. M.R. Karim dan M. Sarraf, *W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks*, McGraw-Hill, 2002
- [7]. Rappaport, Theodore S., *Wireless Communications*, Prentice Hall, 1996.
- [8]. S.Harada dan R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communication*, Boston, Artech House, 2003, ch.4
- [9]. Santoso, Gatot, *Sistem Selular CDMA (Code Division Multiple Access)*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004
- [10]. Shah, Amol, *Code Division Multiple Access: A Tutorial*, PDF Files, 1999
- [11]. Sklar, Bernard, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, 1988
- [12]. Stallings, William, *Komunikasi & Jaringan Nirkabel*, Erlangga, 2007
- [13]. Yang, Samuel C., *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998

## BIODATA



Bayu Dwi Setyadi, lahir di Magelang 6 Desember 1987. Menempuh pendidikan dasar di SDN Potrobangsari II Magelang lulus tahun 1999 dan melanjutkan ke SLTP N 1 Magelang sampai tahun 2002, kemudian melanjutkan

ke SMU N 3 Magelang lulus tahun 2005. Dari tahun 2005 sampai saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, dengan konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Imam Santoso, ST., MT.  
197012031997021001

Dosen Pembimbing II

Darjat, ST., MT.  
197206061999031001